

3.Золотов М.С., Мельман В.А. Исследование выносливости центрально сжатых склеенных бетонных элементов при динамических нагрузках различной частоты // Ресурсоэкономні матеріали, конструкції та споруди: Зб. наук. праць. Вип. 7. – Рівненський держ. техн. ун-т, 2001. – С.133-141.

4.Золотов М.С., Мельман В.А. Исследование процессов трещинообразования в клеевых соединениях с использованием ультразвукового импульсного метода // Материалы международного семинара по моделированию и оптимизации композитов МОК 39. – Одесса: ОГАСА, 2000. – С.110-112.

Получено 17.05.2002

УДК 691.3 : 620.197.6

М.С.ЗОЛОТОВ, профессор, Л.В.ГАПОНОВА

*Харьковская государственная академия городского хозяйства*

# **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТАРЕНИЯ ПОКРЫТИЯ ПОЛОВ ИЗ АКРИЛОВЫХ ПОЛИМЕРОВ**

Предлагается математическая модель продолжительности старения покрытий полов из акриловых полимеррастворов с учетом различных факторов.

В отечественной и зарубежной практике [1, 2] широко распространены полимербетоны на основе эпоксидных, полиэфирных и других смол. Эти материалы характеризуются высокими прочностными свойствами, коррозионной стойкостью и т.п. Вместе с тем они обладают низкими технологическими качествами (высокой вязкостью, длительным отверждением, многокомпонентностью и др.) и имеют высокую стоимость. Как показали исследования [3, 4], этих недостатков лишен раствор на основе акрилового полимера. Покрытия полов из этого материала соответствуют требованиям СНиП 2.03.13-88 [6]. Авторам необходимо определить срок службы покрытий из акрилового полимера.

Прогнозирование срока службы покрытий полов представляет собой сложную задачу. Их срок службы определяется свойствами материала покрытия, условиями эксплуатации, а также требованиями, которые к нему предъявляются. Одним из решений этой проблемы является выбор и обоснование математической модели. Эта задача решается на основе знаний о механизме старения покрытий. Однако, как показывают исследования, обоснование математической модели затруднено сложностью характера механизма старения. В процессе эксплуатации покрытий полов зданий изменяется характер механизма старения, то есть на отдельных этапах старения изменение эксплуатационных свойств покрытий определяют различные составляющие механизма старения. Это могут быть химические, диффузионные, фотоокислительные, термоокислительные процессы и т.д.

Рассмотрим процесс старения покрытий с позиции термофлуктуационной теории прочности полимеров [10]. Согласно молекулярной модели трещины атомы в вершине трещины вследствие тепловых флуктуаций время от времени приобретают кинетическую энергию, достаточную для ее разрыва или восстановления, если произошел разрыв.

При воздействии факторов окружающей среды в покрытии возникают внутренние напряжения, при этом вероятность разрыва связей в структуре покрытия возрастает, а их восстановления - уменьшается. Согласно молекулярной модели трещины, величина потенциальной энергии, необходимой для разрыва связи, равна

$$U = U_0 - v_a \sigma^x, \quad (1)$$

где  $v_a$  - флуктуационный объем;  $\sigma^x$  - действующее локальное напряжение;  $U_0$  - потенциальный барьер разрыва связи при  $\sigma = 0$ .

Величина потенциальной энергии, необходимой для восстановления связи, равна

$$U' = U_0 + v \cdot \sigma^x, \quad (2)$$

где  $U_0$  - потенциальный барьер рекомбинации связи при  $\sigma = 0$ .

При некотором значении напряжений, возникающих в покрытии под действием факторов окружающей среды

$$U_0 - v \cdot \sigma^x = U'_0 + v \cdot \sigma^x, \quad (3)$$

трещина не растет, при этом наблюдается незначительное изменение защитных свойств (инкубационный период). При напряжениях  $\sigma > \sigma^x$  наблюдается рост трещины, при этом скорость процесса  $v$  определяется соотношением

$$v = v_1 - v_2, \quad (4)$$

где  $v_1$  - скорость роста трещины;  $v_2$  - скорость смыкания трещины.

Так как  $v_1 > v_2$ , то скорость старения будет определяться скоростью роста трещины.

Частота флуктуации в момент разрыва связи в вершине трещины равна

$$u = u_0 \exp \left[ - (U_0 - v \sigma^x) / kT \right]. \quad (5)$$

Так как скорость роста трещины равна  $v_1 = \lambda u_1$ , то с учетом выражения (5)

$$u = \lambda u_0 \exp \left[ - (U_0 - v_a \sigma^x) / kT \right]. \quad (6)$$

Переход от инкубационного периода к активной стадии наблюдается при  $\sigma > \sigma_x$ .

В соответствии с выражением (6) срок службы покрытий может быть определен по формуле

$$\tau = \int_{w_0}^{w_k} \frac{dw}{v}, \quad (7)$$

где  $w_0$ ,  $w_k$  – первоначальный и конечный уровень накопления повреждений.

Решение уравнения (7) приводит к виду

$$\tau = A \tau_0 \exp[(U - v_\sigma) / kT]. \quad (8)$$

Выражение  $(U - v_\sigma)$  представляет собой энергию активации старения, которая является эффективной величиной и представляет собой комбинацию энергий активации отдельных процессов, лежащих в основе старения покрытий. Предэкспоненциальный множитель  $A$  является сложной величиной, зависящей от влажности воздуха  $W$ , интенсивности УФ-излучения.

Рассмотрим влияние влажности воздуха и интенсивности УФ-облучения на предэкспоненциальный множитель  $A$ . Как известно, при воздействии влаги на полимерные покрытия протекают физические, химические и фотохимические процессы. Как отмечалось выше, лимитирующей стадией процесса старения являются химические процессы. В связи с этим закономерности скорости старения будем рассматривать с позиции химических процессов. Химические изменения в покрытии под действием влаги обусловлены процессами гидролиза. Гидролиз ускоряется при повышении относительной влажности воздуха [7]. Количество сорбированной влаги определяется величиной влагосодержания воздуха, т.е. константа скорости гидролиза будет пропорциональна влажности воздуха

$$\beta = \gamma W, \quad (9)$$

где  $\gamma$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий влияние воздуха на скорость гидролиза пленкообразователя;  $\beta$  – константа скорости гидролиза;  $w$  – влажность воздуха.

Скорость гидролиза пропорциональна количеству сорбированной влаги и может быть описана уравнением реакции первого порядка

$$\beta = (1/t) \ln(C_0 / C), \quad (10)$$

где  $C$  – концентрация вещества.

Отношение времени старения при изменении влажности воздуха  $w$  будет описываться зависимостью

$$t_1 / t_2 = \{(1 / w_1) \ln(C_0 / C_1)\} / \{(1 / w_2) \ln(C_0 / C_2)\} = \text{const} = k_1. \quad (11)$$

Продолжительность достижения одинаковой степени разрушения с учетом уравнения (11) может быть определена уравнением

$$\tau_1 = \tau_2 k_1. \quad (12)$$

В качестве базового  $w$  используется минимальное значение влажности воздуха, достигаемое в месте эксплуатации покрытия пола.

В работах [7, 9] подробно изложены результаты исследований кинетических закономерностей разрушения покрытий под действием светового излучения. По данным [8] продолжительность испытаний до одинаковой степени разрушения линейно зависит от обратных величин интенсивностей излучения

$$\tau_1 \cdot J_1 = \tau_2 \cdot J_2 = \tau_3 \cdot J_3 = \text{const} = k_2. \quad (13)$$

С учетом выражений (12), (13) продолжительность старения покрытий до заданной степени разрушения в зависимости от интенсивности облучения будет определяться соотношением

$$\tau_1 = \tau_2 \cdot k_2. \quad (14)$$

Продолжительность старения покрытий до заданной степени разрушения будет определяться соотношением

$$\tau = \tau_0 \exp[U / kT] k_1 k_2. \quad (15)$$

При переменных условиях эксплуатации  $x(t)$  воспользуемся уравнением Бейли

$$\int_0^T dt / \tau = 1, \quad (16)$$

где  $t$  — долговечность покрытия в данных условиях эксплуатации  $x$ ;  $\tau$  — долговечность покрытия в любых условиях эксплуатации.

При переходе от интегральной формы к конечным приращениям имеем

$$\sum \Delta t / \tau = 1. \quad (17)$$

В основе методики расчета срока службы покрытий заложен принцип аддитивности, что позволяет определить постоянные условия эксплуатации, эквивалентные по своему суммарному разрушающему эффекту переменным условиям эксплуатации. В качестве постоянных условий приняты температура  $T_0 = 273^\circ \text{K}$ , минимально достигаемая

влажность и интенсивность УФ-облучения в данном климатическом районе.

Эквивалентное время предложено определять по формуле

$$\tau_{\text{экв}} = (W_{\text{мин}} / W_{\text{тек}})(I_{\text{мин}} / I_{\text{тек}})\tau_0 \exp[-U / R(1/T_1 - 1/T_0)], \quad (18)$$

где  $T_1$  – текущая температура эксплуатации.

Определение продолжительности старения покрытий до заданной степени разрушения сводится к следующему.

1. Определяют для данного климатического района в соответствии с математической моделью время в течение года, эквивалентное по суммарному разрушающему эффекту по отношению к постоянным параметрам среды (температура 273 °K,  $W_{\text{мин}}$ ,  $I_{\text{мин}}$ ) –  $\tau_{\text{экв}}$ . Предварительно необходимо определить значение энергии активации разрушения покрытия.

2. Определяют в соответствии с моделью старения напряженность лабораторных испытаний с учетом режима испытаний

$$\tau_2 = N t_{\text{экв}}, \quad (19)$$

где  $N$  – число циклов испытаний;  $t_{\text{экв}}$  – напряженность одного цикла климатических испытаний, сут.

3. Продолжительность старения вычисляют по формуле

$$\tau = \tau_2 / \tau_{\text{экв}}.$$

Используя предложенную математическую модель продолжительности старения покрытия полов с учетом факторов, влияющих на кинетику их старения, можно определить срок службы указанных покрытий из различных материалов, в том числе на основе акриловых полимеров.

1.Путляев И.Е., Уваров И.Б. Химически стойкие полы промзданий из полимерных мастик (обзор) // Отечественный и зарубежный опыт. - М.: ВНИИС Госстроя СССР, 1978. - 72 с.

2.Шифрин Э.Ш. Ремонт и реконструкция полов промышленных зданий в ФРГ // Экспресс-информация. Технология строительно-монтажных работ (зарубежный опыт). Вып.19. - М.: ВНИИ-Состроя СССР, 1986.-С.4-6.

3.Золотов М.С., Болквдзе З.Р. Покрытия полов зданий на основе акрилового полимера // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 21. - К.: Техніка, 1999. - С.34-39.

4.Золотов М.С., Болквдзе З.Р., Гапонова Л.В. Воздействие агрессивных сред на покрытия полов из акрилбетона // Моделирование и оптимизация в материаловедении. - Одесса, 2001. - С. 84-85.

5.Золотов М.С., Воловач С.В., Гапонова Л.В. Влияние механических воздействий на прочность покрытия полов из акрилбетона // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 27. - К.: Техника, 2001. - С. 167-171.

6.СНИП 2.03.13-88. Полы. Нормы проектирования. - М.: Стройиздат, 1989. - 67 с.

7. Андрищенко Е.А. Светостойкость лакокрасочных покрытий. - М: Химия, 1986. - 182 с.

8. Пашенко А.А. Гидрофобизация. - К.: Наукова думка, 1973. - 237 с.

9. Кричевский Г.Е., Гомбкетс А. Светостойкость окрашенных текстильных изделий. - М.: Легкая индустрия, 1975. - 168 с.

10. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. - М.: Наука, 1974. - 560 с.

*Получено 17.05.2002*

УДК 691.11 : 674.048.5 : 678.6

**Р.А.БИГУН**

*Харьковская государственная академия городского хозяйства*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Приведен опыт использования модифицированной древесины (различными полимерами) в отечественной и зарубежной практике строительства.

Одним из эффективных путей экономии лесоматериалов в строительстве и более полного использования отходов и низкокачественной древесины является модифицирование ее полимерами [1-3]. В результате модифицирования значительно повышается прочность и формостабильность натуральной древесины, био- и огнестойкость, а также сопротивление действию агрессивных сред.

Пропитанная полимерами древесина с последующим отверждением пропитывающего вещества в ее порах отличается повышенной долговечностью в самых жестких условиях эксплуатации. Так, при использовании модифицированной древесины для конструкций градирен срок их службы повышается в 3-5 раз, экономятся ценные хвойные породы дерева, поскольку в дело идут преимущественно лиственные породы, легче пропитываемые полимерами. Экономия средств на одной градишне при использовании модифицированной древесины может достигать 140-200 тыс. грн.

Перспективной областью применения модифицированной древесины является устройство паркетных полов взамен использования дорогостоящих дуба, ясеня, бука. В Украине и за рубежом имеется опыт изготовления паркета из модифицированной древесины.

Высокая прочность при сжатии поперек волокон, малая истираемость, повышенная твердость, достигаемые в результате модифицирования древесины, делают ее ценным материалом для устройства покрытий сборных полов. К этому следует добавить стойкость к постоянному и переменному увлажнению, действию химических бытовых реагентов, способность к склеиванию и окрашиванию.